

AI-MIPv6: 一种基于归属信息的移动 IPv6 预测切换协议^{*})

周琼琼 孙波 陈峰 李智伟

(北京航空航天大学软件开发环境国家重点实验室 北京 100083)

摘要 已经提出的快速和平滑切换框架中,普遍使用接入路由器进行信令的处理和数据的缓存,这种结构不易部署和扩展。本文提出了利用链路层与网络层之间的归属信息进行预测切换的协议,描述了预测切换协议的切换过程,阐述了归属信息的组织和使用方法,分析了切换协议的时延特性,并进行了实验验证。该协议通过对本地管理单元和域管理单元的使用,能够有效减少切换时延和丢包,并具有易部署和易扩展的能力。

关键词 移动 IPv6, 预测切换, 切换控制单元, 归属信息

An Attached-info-based Approach to MIPv6 Anticipated Handovers

ZHOU Qiong-Qiong SUN Bo CHEN Feng LI Zhi-Wei

(National Lib. of Software Development Environment, Beihang University, Beijing 100083)

Abstract Most released frameworks of fast handovers and smooth handovers use access routers to adapt signals and buffer packets. Therefore, it is difficult to implement and expand in real networks. An anticipated protocol was proposed by using the attached information between data link layer and network layer in the paper. The handover process of the anticipated protocol was described, the organization and usage of the anticipated protocol were discussed, the delay character of the anticipated protocol was analyzed and the experiment was operated. By using local and domain management units, the anticipated protocol can reduce handover delay, solve packet loss, and has capable of implementation and expansion.

Keywords Mobile IPv6, Anticipate handover, HCU, Associated information

1 引言

IPv6 被认为是下一代互联网的核心技术,已经成为业界普遍关注的焦点。移动 IPv6 (MIPv6; Mobile IPv6) 是基于 IPv6 的移动管理协议,用来解决节点移动过程中由于链路的改变而引发的位置不可达问题。它是通过对移动节点 (MN; Mobile Node) IP 地址变化的动态跟踪,来保证节点的移动性的。在 MIPv6 网络环境中,当 MN 由一个子网进入另外一个子网,通信链路发生改变时,为了继续通信,有关的路由服务也必须改变,这就需要有一个被称为切换的数据包交换过程。实验证明,切换过程是网络传输中的非连续过程,存在着较长的时延和较多的丢包,从而引发 UDP 和 TCP 传输性能的下降^[1]。为了优化切换过程,提出和讨论很多方法,如用以减少时延的快速切换方法^[2,3],用以减少丢包的平滑切换方法^[4]、用以降低信令负载的分层切换方法^[5]等。此外,在已经提出的快速或平滑切换的框架^[2~4]中,普遍使用接入路由器进行信令的处理和数据的缓存。接入路由器作为端设备的接入和路由系统,参与切换的信令处理和缓存操作,将不可避免地增加额外开销。此外,这种切换框架升级困难,不利于系统的部署和扩展。

本文针对移动 IPv6 切换过程中的时延、丢包问题,考虑到协议的实际部署和使用,提出了基于归属信息的预测切换协议 (AI-MIPv6; Attached-Info based MIPv6)。该协议使用本地管理单元 (LMU; Local Management Unit) 和域管理单元 (DMU; Domain Management Unit) 辅助 MN 完成基于归

属信息的预测切换过程,并替代接入路由器完成切换的信令处理和缓存操作。LMU/RMU 可以作为主机软件,部署灵活。LMU 的部署方式类似于移动 IPv4 中的外地代理的部署方式,且可以通过在同一子网部署多个 LMU 来实现负载均衡。文中定义了归属信息,描述了切换过程,给出了归属信息获取和交换的方法,分析了切换时延,并通过实验验证了预测切换协议的性能。

2 归属信息的定义

在定义归属信息之前,首先考察无线子网的邻居关系。邻居指的是无线子网之间的一种相邻关系,该相邻关系的含义是物理位置上存在交叉覆盖区的两个无线子网互为邻居。在基于 IP 的无线网络中,子网的交叉覆盖实际上是通过有线网络与无线网络之间的桥接设备实现的,这类桥接设备通常泛称为访问点 (AP; Access Point),如 UMTS^[6] 网络中的基站 (BS; Base Station)、802. x 网络中的无线访问点 (WAP; Wireless Access Point)。AP 作为接入网络的末端设备,通常唯一归属于一个子网 (在极少数情况下,一个 AP 归属于多个子网^[7]),而一个子网却可以包含多个 AP。按照无线子网的覆盖情况,可以将无线子网之间的关系划分成有交叉覆盖和无交叉覆盖两种,其覆盖及相邻关系如图 1 所示。

在图 1 中,子网 A 与子网 B、子网 B 与子网 C 互为邻居,子网 A 与子网 C、子网 D 与子网 E 不是邻居。针对无线子网的使用而言,AI-MIPv6 要求 MN 从当前无线子网进入它的某一个邻居子网的过程中,移动路径上存在连续网络覆盖,无

^{*}) 国家自然科学基金项目:移动 IP 无缝切换技术研究(60473084)。周琼琼、孙波、陈峰 硕士生;李智伟 博士生。

盲区存在。

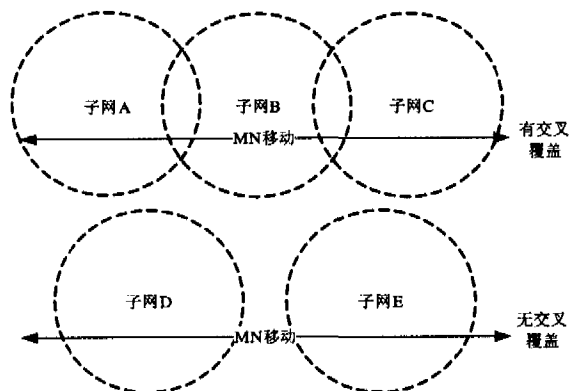


图1 无线子网的覆盖及相邻关系

为了实现预测切换过程, AI-MIPv6 希望能够建立 AP 与其归属子网之间的对应关系, 归属关系由归属信息进行记录。归属信息包括 AP 的标识信息 (AP 的 ESSID、AP 的 MAC 地址、AP 的名字等)、归属子网的前缀信息和 LMU 的地址信

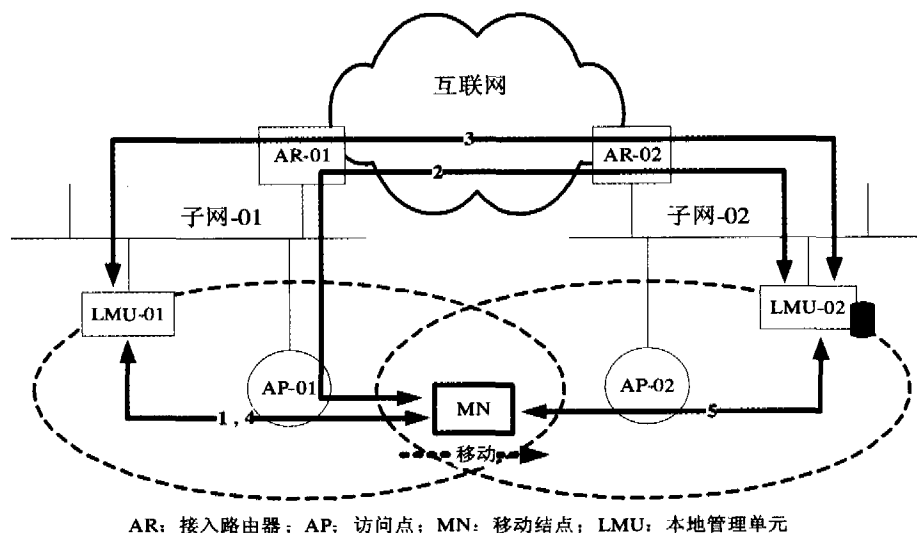
息。对于某一个子网而言, 归属于该子网的全部 AP 的归属信息被称为该子网的本地归属信息, 归属于该子网邻居子网的全部 AP 的归属信息被称为该子网的邻居归属信息。

3 切换过程与归属信息维护

AI-MIPv6 提出了新的实体 LMU 来辅助进行切换控制, 要求每一个子网至少部署一个 LMU。LMU 负责完成对本地归属信息的采集, 并与邻居子网中的 LMU 进行邻居归属信息交换。

3.1 切换过程

AI-MIPv6 的切换过程如图 2 所示, 切换过程描述了两个子网交叉覆盖的情况。两个子网分别通过 AR-01 和 AR-02 接入互联网, 无线覆盖通过 AP-01 和 AP-02 实现。AR-01、LMU-01 和 AP-01 归属于子网-01, AR-02、LMU-02 和 AP-02 归属于子网-02, MN 的起始位置在子网-01。在 LMU-01 和 LMU-02 的归属信息表中, 分别记录着自己和对对方子网的归属信息。



AR: 接入路由器; AP: 访问点; MN: 移动结点; LMU: 本地管理单元

图2 预测切换协议的切换过程

切换过程中主要操作顺序过程如下(与图 2 中的标号对应):

(1) MN 到达 AP-01 信号覆盖的边缘区域, 检测到 AP-02 的无线信号并将获得的 AP-02 的标识信息经 AP-01 发送给 LMU-01 (由“AP 归属请求”消息承载); LMU-01 根据 AP-02 的标识信息检索它的归属信息表, 返回子网-02 的前缀信息和 LMU-02 的地址信息 (由“AP 归属应答”消息承载);

(2) MN 经 AP-01 向 LMU-02 发送“缓存初始化请求”消息, 并将 CoA-02 (MN 在子网-02 中的无状态配置地址) 发送给 LMU-02 (由“预期地址配置请求”消息承载); LMU-02 根据自身的状态返回“缓存初始化应答”消息, 根据使用的地址配置策略 (有状态地址配置或无状态地址配置) 返回合法的 CoA-02 (由“预期地址配置应答”消息承载);

(3) LMU-02 向 LMU-01 发送“隧道建立请求”消息, LMU-01 做出应答 (由“隧道建立应答”消息承载), 并建立 LMU-01 到 LMU-02 的单向数据转发隧道;

(4) MN 经 AP-01 向 LMU-01 发送“代理转发请求”消息, LMU-01 做出应答 (由“代理转发应答”消息承载) 并开始隧道转发目标地址为 CoA-01 (MN 在子网-01 中的 CoA) 的分

组到 LMU-02, LMU-02 缓存这部分分组; MN 断开与 AP-01 的连接并建立与 AP-02 的连接;

(5) MN 启用 CoA-02, 经 AP-02 向 LMU-02 发送“缓存转发请求”消息, 收到 LMU-02 的应答 (由“缓存转发应答”消息承载) 并开始接收缓存的分组。当分组转发完毕, 释放相应资源。

3.2 归属信息的采集与邻居交换

在 AI-MIPv6 中, MN 借助归属信息对可能接入的子网进行预测, 从而提前完成新 CoA 的配置操作。对于 AI-MIPv6 而言, 归属信息的维护和管理至关重要, 本节对归属信息的采集和邻居交换进行描述。

3.2.1 归属信息的采集

归属信息采集是指 LMU 收集本子网的归属信息, 并建立本地归属信息表的过程。归属信息的采集使用静态配置和动态发现两种方式。静态配置是指从本地配置文件中读入本子网归属信息记录的过程, 本地配置文件中的内容通过离线方式进行手工设定; 动态发现是指借助 SNMP 动态获得 AP 的标识信息和归属子网的前缀信息的过程。LMU 的软件体系结构如图 3 所示。

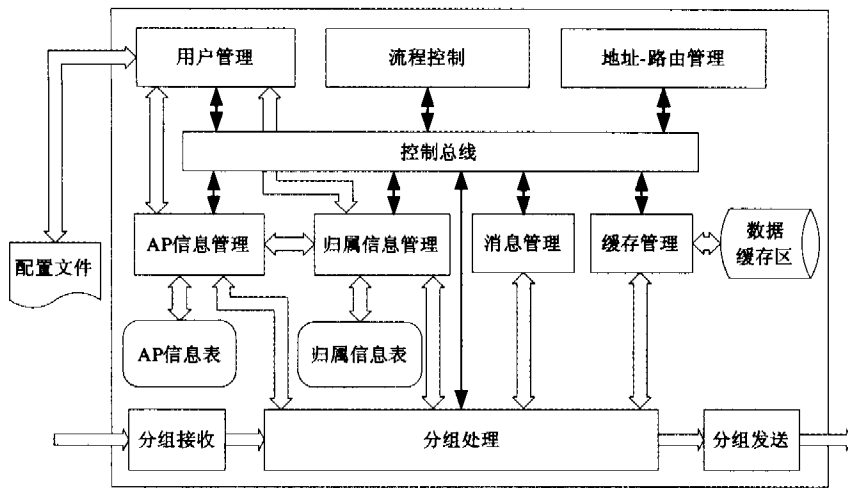


图3 LMU 的软件体系结构

LMU 的软件体系结构采用模块化设计,软件系统主要由用户管理、流程控制、地址-路由管理、AP 信息管理、归属信息管理、消息管理、缓存管理、控制总线等功能模块组成。用户管理模块读入配置文件信息,完成软件系统的初始化操作,并提供运行时的系统维护和管理操作;流程控制模块完成对 LMU 中各个模块的运行和调度操作;地址-路由管理模块完成与地址解析和路由设定相关的操作;AP 信息管理模块完成本子网 AP 信息的动态采集和“AP 信息表”的维护操作;归属信息管理模块完成本子网归属信息的采集、交换和“归属信息表”的维护操作;消息管理模块完成网络消息的解析和生成操作;缓存管理模块完成平滑切换过程中的分组转发和缓冲区维护操作;控制总线用来连接其它各个模块,为控制消息的传递提供统一的标准接口。配置文件用来存储软件系统的初始化信息、AP 信息的静态数据和归属信息的静态数据。

3.2.2 归属信息的交换

LMU 通过静态配置和动态发现两种方式完成本地的归属信息的采集。信息采集完成后,LMU 需要将本子网的部分归属信息提供给其它子网的 LMU 使用,从而为预测切换提供位置信息服务。归属信息的交换是指 LMU 之间的信息共享与互换。本节根据 LMU 除了存储本子网的归属信息外是否仅存储其邻居 AP 的归属信息,将归属信息交换划分为邻居归属信息交换和城内归属信息交换。

1) 邻居归属信息交换

邻居归属信息交换是指互为邻居的 LMU(因为归属信息的交换是由各子网的 LMU 完成的,所以我们也称这些 LMU 互为邻居)之间的归属信息交换。互为邻居的 LMU 之间构成了一种平面覆盖网结构。对于任意一个 LMU 而言,它需要获得所有邻居 AP 的归属信息。互为邻居的 LMU 之间在进行归属信息交换之前,需要明确 AP 之间的邻居关系。邻居关系可以通过静态方式从本地配置文件中获得,也可以通过对历史切换过程的学习动态获得。借助学习机制,LMU 能够获得部分邻居归属信息。使用学习机制的邻居归属信息交换如图 4 所示。使用学习机制的邻居归属信息交换是通过一系列网络消息的交互完成的,关键步骤如下:

(1)MN 向 LMU-01 发送“AP 归属请求”消息,消息中携带 AP-02 的标识信息;LMU-01 在归属信息表中检索 AP-02 的归属信息,未查找到相关记录;

(2)LMU-01 返回“AP 归属应答”消息,并设定消息中的

状态位 L(希望 MN 能够辅助完成学习过程);

(3)MN 采用非预测切换方式接入 AP-02 所在的子网,完成切换后,将 AP-01 的归属信息(由“归属信息通告”消息承载)发送给 LMU-02;同时,将 AP-02 的标识信息和 LMU-01 的地址信息(由“邻居发现通告”消息承载)发送给 LMU-02;

(4)LMU-02 将 AP-01 的归属信息添加到归属信息表中,并根据“邻居发现通告”消息将 AP-02 的归属信息发送给 LMU-01(由“归属信息通告”消息承载);LMU-01 将 AP-02 的归属信息添加到归属信息表中,完成学习过程。

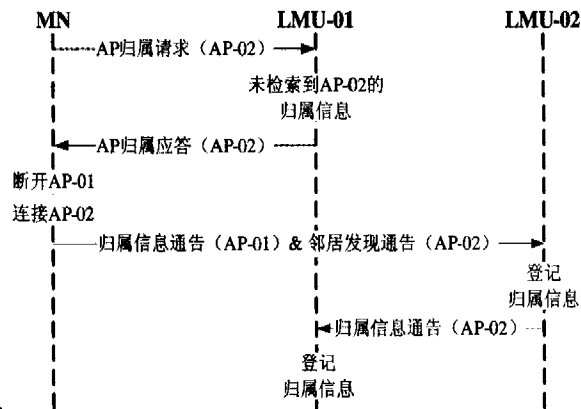


图4 使用学习机制的邻居归属信息交换

学习过程是在 MN 的辅助下完成的。尽管辅助学习过程的 MN 无法完成预测切换操作,但是该机制可以保证后续的 MN 获得预测服务支持。在实际系统的部署和使用中,学习过程是可行的。在系统建设的调试阶段,可以借助路测系统的移动终端在关键路径上的运动,辅助 LMU 完成邻居归属信息的交换。

2) 城内归属信息交换

邻居归属信息交换是一种非冗余的信息交换,LMU 仅需要存储其邻居 AP 的归属信息,该交换是建立在子网之间的邻居关系基础上的。针对无明确邻居关系的情况,本节给出使用冗余信息的城内归属信息交换方法,该方法的基本思想如下:

(1)将物理位置上彼此临近的多个无线子网划分在一个域,域的范围可以根据实际需要进行划分,也可以参照自治系统(AS; Autonomous System)的组织^[8]进行划分。

(2)域内增加新的节点-域管理单元(DMU; Domain

Management Unit)对 LMU 和域的归属信息进行统一管理。

(3)域内的 LMU 通过归属信息注册过程将采集到的本地归属信息的副本汇总到 DMU,进行统一存储。LMU 通过自启动的位置注册过程,将其地址信息登记在所在域的 DMU;LMU 通过主动注册的方式或者通过被动触发的方式,将本地的归属信息登记在所在域的 DMU,完成归属信息注册过程。

(4)当 MN 向 LMU 提出 AP 归属信息查询(由“AP 归属请求”消息承载)请求的时候,DMU 配合 LMU 完成查询过程。使用 DMU 的归属信息查询过程,如图 5 所示。

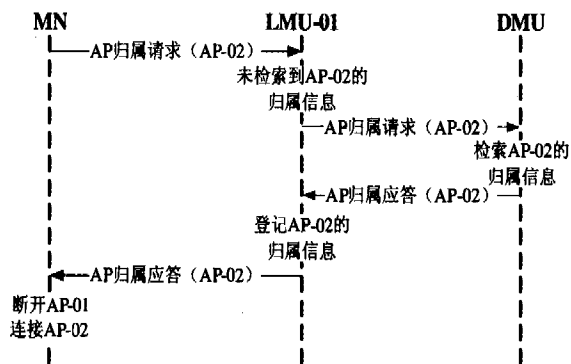


图 5 使用 DMU 的归属信息查询过程

MN 向所在子网的本地管理单元(LMU-01)发送“AP 归属请求”消息,消息携带 AP-02 的标识信息;LMU-01 检索归属信息表,如果检索到 AP-02 的归属信息,则通过“AP 归属应答”消息返回检索结果,否则 LMU-01 发送“AP 归属请求”消息给域内的 DMU;DMU 检索归属信息表,并返回 AP-02 的归属信息(由“AP 归属应答”消息承载);LMU-01 收到 DMU 的“AP 归属应答”消息后,根据消息的承载内容,将 AP-02 的归属信息添加到归属信息表中,并发送“AP 归属应答”消息给 MN。

(5)使用 DMU 的域内归属信息交换采用了集中管理归属信息的方法,系统的第一个稳态中(全部 LMU 的归属信息

注册完毕)域内归属信息的副本数量为 2。随着 MN 的预测切换,域内归属信息的副本数量增加,并最终达到第二个稳态(全部 LMU 的邻居归属信息交换完毕)。

除了采用集中管理归属信息的方法外,域内归属信息交换也可以采用全交换的方法进行。DMU 仅用来存储域内 LMU 的地址信息,LMU 之间采用一对多扩散的方法完成归属信息的交换。该方法只有一个稳态,域内归属信息的副本数量为 N(N 为域内 LMU 的数量),适用于域比较小的情况。

4 切换时延的分析

通常认为,移动 IP 的网络层切换时延主要由 3 段时间组成:首先是 MN 的移动检测时间,表示为 1D;其次是 MN 的地址配置与验证时间,表示为 2D;最后是新 COA 的绑定更新时间,表示为 3D。因此,移动 IPv6 总的网络层切换时延可以表示为:

$$TD = 1D + 2D + 3D \quad (1)$$

在有 L2 支持的情况下,1D 主要是由 L2 切换的时延组成的。一般认为,1D << 2D + 3D。在无 L2 支持的情况下,1D 主要是由 RA 消息的广播间隔时间决定的,通常为 30ms~70ms^[9];2D 主要是由冲突地址检测时间构成,其统计平均值为 1500ms^[10];3D 主要是由 MN 到 HA/CN 的分组传输时延组成。

AI-MIPv6 对移动 IPv6 标准切换过程的改进主要体现在对切换时延的优化。该协议通过 MN 对当前连接 AP 的信号强度的持续检测,明确了切换的开始时间;通过对归属信息的使用,明确了预期进入的子网;通过预期地址配置,在切换前完成了新 CoA 的配置和验证操作。这样就有式(1)中的 1D = 2D = 0,总的网络层切换时延为:

$$TD = 3D \quad (2)$$

从式(2)的表述可以看出,AI-MIPv6 的网络层切换时延只与新 COA 的绑定更新时间有关,与移动 IPv6 标准切换过程相比,具有较小的总体切换时延。数值分析与比较,通过后续章节的实验给出。

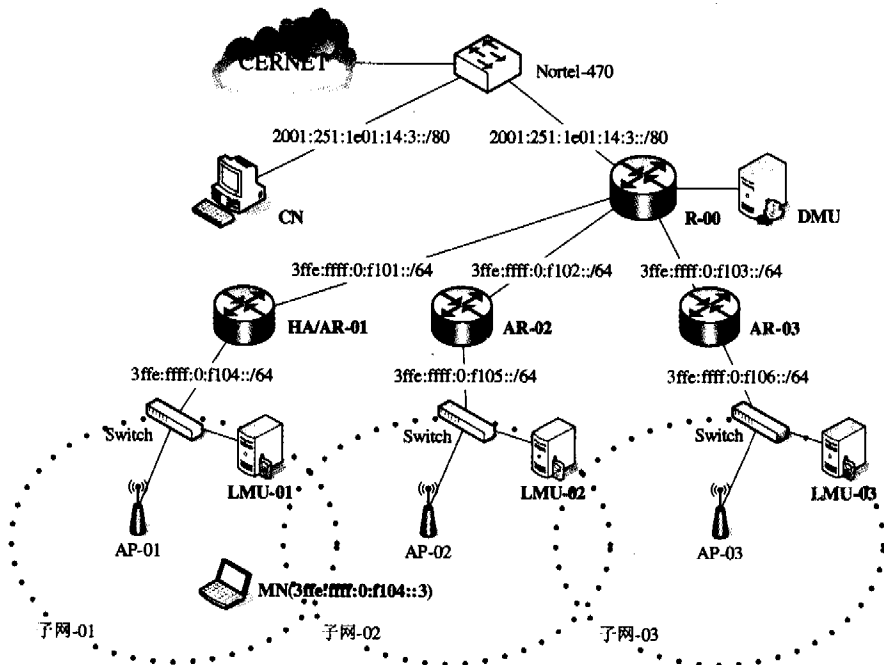


图 6 测试环境的网路拓扑

5 实验结果与分析

5.1 实验场景

为了验证 AI-MIPv6 的性能,实验构建了测试环境。测试环境的网络拓扑如图 6 所示。测试环境包含 3 个无线子网(分别是子网-01、子网-02 和子网-03),每个子网由一个接入路由器(分别是 AR-01、AR-02 和 AR-03)、一个本地管理单元(分别是 LMU-01、LMU-02 和 LMU-03)和一个支持 802.11g 的无线访问点(分别是 AP-01、AP-02 和 AP-03)组成。子网-01 是 MN 的家乡子网。AR-01、AR-02 和 AR-03 通过上一级路由器(R-00)与三层交换机(Nortel-470)相连,其中 AR-01 配备了 HA 功能。

为了方便系统的安装和测试,测试环境使用了多网卡主机作为组网的路由设备,R-00、AR-01、AR-02 和 AR-03 是主路由器。其中,MIPL 是由芬兰 HUT 遵照 RFC 3775 开发的移动 IPv6 协议栈,支持标准的移动 IPv6 切换过程。

5.2 实验结果

实验通过对 MIPL 与 AI-MIPv6 的切换时延、切换丢包和缓存转发特性的测量与对比分析,阐释 AI-MIPv6 对移动 IPv6 标准切换过程的改进效果。

5.2.1 时延特性

在考察 AI-MIPv6 的时延特性之前,实验首先对测试环境的链路层切换时延进行了测量,如图 7 所示。

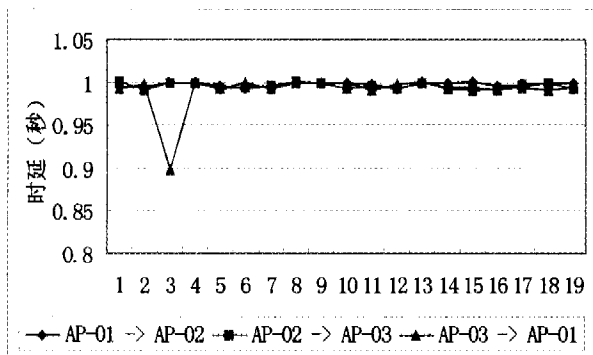


图 7 测试环境的链路层切换时延

图 7 测量的链路层切换时延是从 MN 断开与旧 AP 的连接到建立与新 AP 的连接这一过程的时间。实验分别对 AP-01 到 AP-02、AP-02 到 AP-03 和 AP-03 到 AP-01 的 19 组时延数据进行了测量。从得到的对比数据上看,测试环境的链路层切换时延比较稳定,数据抖动比较小,基本稳定在 1s 左右。

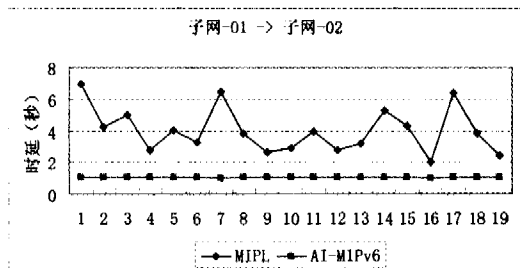


图 8 UDP-512kbps

在上述无线链路的支持下,实验对 MIPL 与 AI-MIPv6 的总体切换时延(链路层切换时延+网络层切换时延)进行了对比分析,如图 8~13 所示。实验对不同带宽条件下的切换

时延进行了测量,CN 分别以 512kbps 和 2Mbps 的速率向 MN 发送 UDP 数据报。针对每一类切换场景和带宽条件,分别对 MIPL 和 AI-MIPv6 进行了 19 组实验,并置于同一个坐标系下进行趋势对比。

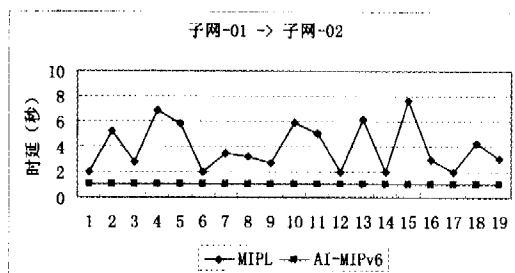


图 9 UDP-2Mbps

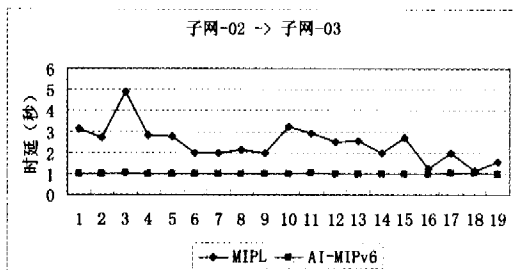


图 10 UDP-512kbps

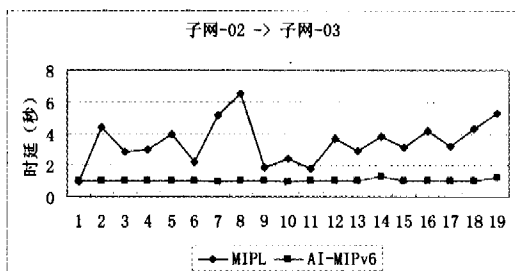


图 11 UDP-2Mbps

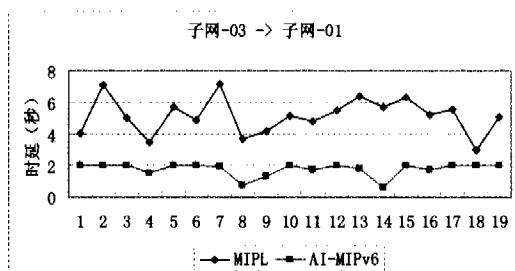


图 12 UDP-512kbps

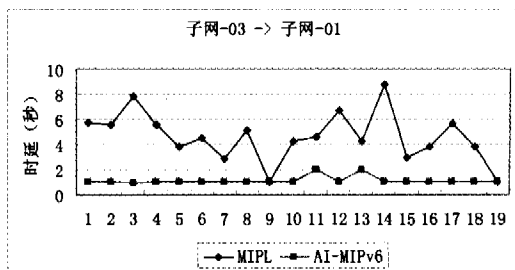


图 13 UDP-2Mbps

图 8~13 MIPL 与 AI-MIPv6 的总体切换时延

从图 8~13 的实验结果可以看出, AI-MIPv6 的总体切换时延明显少于 MIPL, 时延曲线的抖动较小, 其值在 1~2s 间变化。而 MIPL 的总体切换时延较长, 时延曲线呈现较为明显的抖动, 其值在 1~9s 间变化。

网络层切换时延是由移动检测、地址配置和绑定更新过程的耗时组成的。为了较为全面地说明 AI-MIPv6 对切换时延的改进效果, 本实验对链路层切换时延、移动检测+地址配置阶段的耗时、绑定更新阶段的耗时进行了测量和记录。图 14 和 15 以“UDP-512kbps+子网-02→子网-03”切换过程为例, 分别给出了 MIPL 和 AI-MIPv6 中切换时延的分阶段耗时曲线。

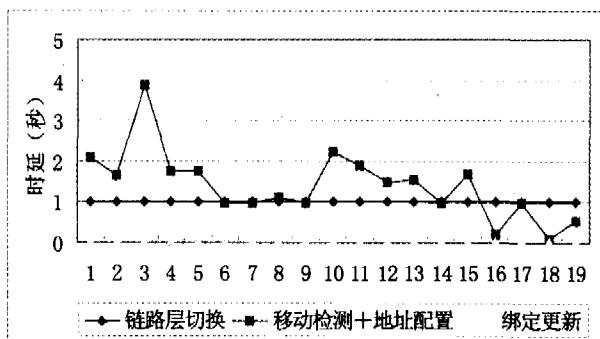


图 14 MIPL 的分阶段耗时(UDP-512kbps+子网-02→子网-03)

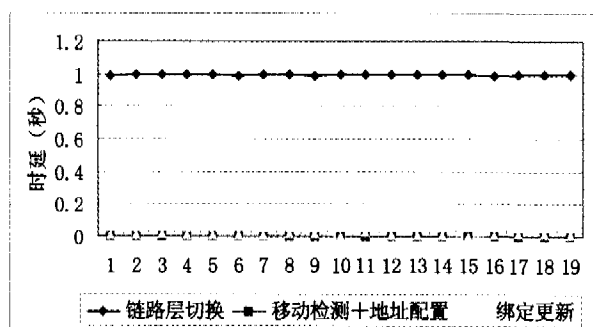


图 15 AI-MIPv6 的分阶段耗时(UDP 512kbps+子网-02→子网-03)

从图 14 和 15 可以看出, MIPL 和 AI-MIPv6 的链路层切换时延和绑定更新阶段的耗时都比较稳定, MIPL 的移动检测+地址配置阶段的耗时抖动较大, AI-MIPv6 的移动检测+地址配置阶段的耗时为零。

MIPL 和 AI-MIPv6 的链路层切换时延是基本相同的, 约为 1s, 其值由无线链路自身的物理特性决定。MIPL 和 AI-MIPv6 的绑定更新阶段的耗时都比较小, 分别是 0.26s 和 0.11s, 其值由 MN 与 HA/CN 之间的消息传递时间决定。

MIPL 使用基于网络层的移动检测机制, 该机制是通过对新路由广播 RA 消息的获取和识别来实现的。RA 消息通常是由 AR 进行周期广播的, 周期的大小是非定长的。因为 RA 广播和 MN 进入新子网的时间是随机的, 所以 MN 获得 RA 消息的时间是随机的, 这导致 MIPL 的移动检测+地址配置阶段的耗时是随机抖动的。因为 MN 的整体切换时延是由链路层切换时延和网络层切换时延组成的, 所以移动检测+地址配置阶段的耗时是引起 MIPL 总体切换时延抖动较大的主要原因。

表 1 对 MIPL 和 AI-MIPv6 的时延特性进行了总结, 给

出了切换时延的平均耗时和时延曲线的抖动对比。从数值对比可以看出, AI-MIPv6 相对 MIPL 而言, 具有较短的切换时延和较稳定的时延特性。

表 1 MIPL 与 AI-MIPv6 的切换时延特性总结

阶段	平均耗时(秒)		时延曲线的抖动	
	MIPL	AI-MIPv6	MIPL	AI-MIPv6
总体切换	2.115764	1.008958	较大	较小
链路层切换	0.998317	0.997499	较小	较小
移动检测+地址配置	1.091002	0	较大	较小
绑定更新	0.026445	0.011459	较小	较小

5.2.2 丢包特性

AI-MIPv6 借助 LMU 对发往旧子网数据进行缓存和转发, 确保切换过程中数据传输的完整性。实验对 MIPL 和 AI-MIPv6 的包丢失率进行考察, 用例如下:

在图 6 所示的网络拓扑中, CN 以恒定发送速率向 MN 发送 UDP 报文(报文的大小恒定, 为 64.0 kByte)。MN 沿着“子网-01→子网-02→子网-03→子网-01”的循环路径进行连续切换, 分别记录连续 50 次切换过程(耗时为 4000s)中 MIPL 和 AI-MIPv6 的包丢失数据。针对发送速率为 256kbps、512kbps、1Mbps 和 2Mbps 的情况, 实验记录了 4 组数据, 如表 2 所示。

表 2 MIPL 与 AI-MIPv6 在不同发送速率下的包丢失数据

发送速率(bps)	MIPL		AI-MIPv6	
	丢失个数	发送个数	丢失个数	发送个数
256k	11615	87075	54	87073
512k	40199	174148	119	174145
1M	88670	340136	241	340122
2M	254932	680274	608	680254

图 16 给出了 MIPL 与 AI-MIPv6 在不同发送速率条件下的包丢失率曲线, 包丢失率=包丢失个数/包发送个数。

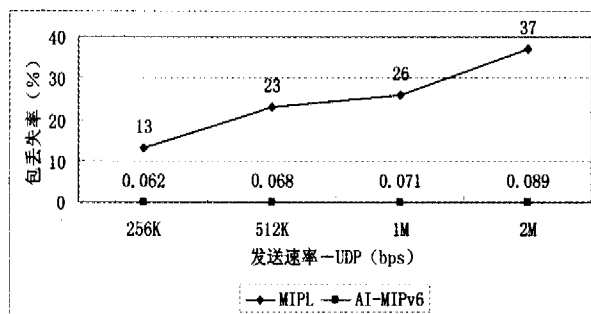


图 16 MIPL 与 AI-MIPv6 在不同发送速率下的包丢失率

从包丢失的对比实验数据来看, AI-MIPv6 对平滑切换的支持要优于 MIPL, 具有较低的包丢失率。并且, 随着发送速率的增加, 包丢失率的增幅比较缓慢。UDP 的发送速率从 256kbps 增长至 2Mbps, MIPL 的包丢失率从 13% 增加至 37%, 增加了 24 个百分点, 增幅为 184.63%; AI-MIPv6 的包丢失率从 0.062% 增加至 0.089%, 增加了 0.027 个百分点, 增幅为 43.55%。为确保切换过程中的零丢包率, 本实验中的 LMU 使用动态缓冲区对可能丢失的分组进行全部缓存。但从实验数据上看, 切换过程中仍存在分组丢失, 分析认为这主要是由无线链路的信号噪声引起的。

5.2.3 缓存转发特性

从包丢失率的实验数据分析来看, AI-MIPv6 有效改善了切换过程中的包丢失程度。为了实现对数据完整性的保障, AI-MIPv6 使用了 LMU 对发往旧链路的分组进行缓存转发, 缓存转发操作与绑定更新过程同时进行, 这引出了缓存转发过程的包乱序问题(参见第 2.3 节)。实验对 AI-MIPv6 的包乱序率进行了考察, 用例如下:

在图 6 所示的网络拓扑中, CN 以恒定发送速率向 MN 发送 UDP 报文(报文的大小恒定, 为 64.0 kByte)。MN 沿着“子网-01→子网-02→子网-03-子网-01”的循环路径进行连续切换, 记录连续 50 次切换过程(耗时为 4000s)中 AI-MIPv6 的包乱序数据。针对发送速率为 256kbps、512 kbps、1Mbps 和 2Mbps 的情况, 实验记录了 AI-MIPv6 在不同发送速率下的包乱序数据, 如表 3 所示。

表 3 MIPL 与 AI-MIPv6 在不同发送速率下的包乱序数据

发送速率(bps)	MIPL		AI-MIPv6	
	乱序个数	发送个数	乱序个数	发送个数
256k	0	87075	3747	87073
512k	0	174148	2334	174145
1M	0	340136	3298	340122
2M	0	680274	2655	680254

图 17 给出了 AI-MIPv6 在不同发送速率条件下的包乱序率曲线, 包乱序率=包乱序个数/包发送个数。

从包乱序的对比实验数据来看, AI-MIPv6 在解决了包丢失问题的同时, 引发了包乱序问题。AI-MIPv6 通过 LMU 将切换过程中可能丢失的分组缓存转发给 MN, 部分经缓存转发的分组到达 MN 的时间迟于经新路径发送的分组, 引起接收过程中的分组乱序。在分组大小一致的情况下, AI-MIPv6 的包乱序率随着发送速率的增加而减小。发送速率从 256kbps 增长至 2Mbps, AI-MIPv6 的包乱序率从 4.303% 减小至 0.39%, 减小了 3.9 个百分点, 降幅为 90.94%。因为

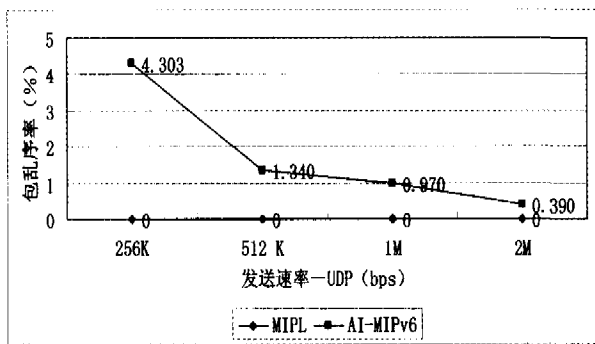


图 17 MIPL 与 AI-MIPv6 在不同发送速率下的包乱序率

表 4 AI-MIPv6 在不同发送速率下的缓存转发速率

发送速率(bps)	LMU 的缓存转发速率(bps)
256k	325.43k
512k	671.67k
1M	1.29M
2M	2.63M

MIPL 不支持对可能丢失分组的缓存转发, 所以其包乱序率始终为零。

AI-MIPv6 的包乱序率与 LMU 的缓存转发速率密切相关。在发送速率一定的情况下, LMU 的缓存转发速率越高, 包乱序率越低。本实验未对 LMU 的转发速率进行人为设定, LMU 使用独立线程对缓存的分组进行“尽力”转发, 并记录实际的转发速率。表 4 给出了实验过程中 AI-MIPv6 在不同发送速率条件下的缓存转发速率(与图 17 对应)。

小结 本文提出的 AI-MIPv6 利用无线桥接设备与子网之间的对应关系, 在链路层切换开始之前完成地址配置和数据转发, 有效减少了切换时延和丢包, 能够为 MN 提供较好的移动性管理服务保障。AI-MIPv6 使用 LMU 替代接入路由器, 完成信令处理和数据缓存, 将接入路由器从切换控制中分离出来, 使其专门用于网络接入和数据传递, 避免了可能出现的处理瓶颈问题, 明晰和优化了网络拓扑结构。此外, LMU 可以作为主机软件, 具有灵活部署和易扩展的优点。归属信息的提出, 明确了链路层与网络层信息之间的对应关系, 通过邻居归属信息的交换, 为预测切换提供了比较明确的移动支持。通过对实际系统的开发和实验测量, 量化说明了实际系统的性能指标, 全面验证了 AI-MIPv6 的性能。与其它协议相比, AI-MIPv6 具有较低的切换时延、较小的切换丢包和良好的缓存转发能力。

参 考 文 献

- 1 Fikouras N A, El Malki K, Cvetkovic S R, et al. Performance of TCP and UDP during Mobile IP Handoffs in Single-Agent Sub-networks. In: IEEE Conf on Wireless Communications and Networking, 1999. 1258~1262
- 2 Koodli R. Fast Handovers for Mobile IPv6. Internet Draft, October 2004
- 3 Liebsch M, Singh A, Chaskar H, et al. Candidate Access Router Discovery (CARD). Internet RFC 4066, July 2005
- 4 Koodli R, Perkins C E. A Framework for Smooth Handovers with Mobile IPv6. Internet Draft, July 2000
- 5 Soliman H, Castelluccia C, El-Malki K, et al., Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6). Internet RFC 4140, August 2005
- 6 3GPP Universal mobile telecommunications system (UMTS): Qos concept and architecture, 3GPP TS 23.107. <http://www.umtsworld.com/technology/qos.htm>
- 7 卢汉成, 李津生, 洪佩琳. 基于重叠网络的移动 IPv6 快速切换. 电路与系统学报, 2004, 9(5)
- 8 Rekhter Y, Chinoy B. Injecting inter-autonomous system routes into intra-autonomous system routing: a performance analysis. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Jan 1992
- 9 Shim E, Wei Hung-yu, Chang Yusun, et al. Low Latency Hand-off for Wireless IP QOS with NeighborCasting. IEEE, 2002
- 10 Chiranjeev K, Neeraj T, Rajeev T. Performance of Mobile IP with new route optimisation technique. In: IEEE International Conference on Personal Wireless Communications, ICPWC 2005, 2005. 522~526